

Всероссийский конкурс учебно-исследовательских работ старшеклассников по  
политехническим, естественным, математическим дисциплинам для учащихся  
9-11 классов

Химия и химические проблемы экологии

Окружающая среда и оксиды серы. Исследование способов, устраняющих  
неблагоприятное воздействие оксидов серы на окружающую среду

Выполнил:  
Сыромятников Борис Александрович,  
11 класс,  
МБОУ «Лицей № 1», г. Пермь  
Бахирева Ольга Ивановна  
Доцент, кандидат хим. наук.

Пермь. 2018.

## Оглавление:

Введение.

1. Литературный обзор.
  - 1.1 Оксиды серы и их свойства.
  - 1.2 Источники попадания оксидов серы в атмосферу.
  - 1.3 Воздействие оксидов серы на биосферу.
  - 1.4 Способы устранения негативного влияния оксидов серы на окружающую среду.
    - 1.4.1 Обработка топлива.
    - 1.4.2 Обработка продуктов сгорания топлива.
  - 1.5 Способы исследования методов устранения негативного влияния оксидов серы на окружающую среду.
2. Экспериментальная часть.
  - 2.1 Теоретический анализ.
  - 2.2 Эксперимент.
3. Обсуждение результатов. Выводы.  
Заключение.  
Примечания.  
Библиографический список.

## **Введение.**

Антропогенное воздействие человеческой цивилизации на биосферу возросло с развитием промышленности в мире в последние два века. Работа теплоэлектростанций, заводов и фабрик, автотранспорта, предприятий по переработке природных веществ привела к загрязнению атмосферы и гидросферы т.н. «антропогенными веществами-загрязнителями», к которым относят на данный момент около 200-т различных химических соединений. Оксиды углерода (угарный газ, углекислый газ), сероуглерод, сероводород, оксиды азота, аммиак, углеводороды, хлор- и фторорганические соединения и другие вещества, находящиеся в твердом, жидком (аэрозоли, взвешенные частицы), газообразном состояниях. К этим веществам относятся и оксиды серы, источник загрязнения которыми также является антропогенным. Все эти вещества, включая оксиды серы, имеют свое влияние на биосферу - как правило, неблагоприятное, почему их называют «веществами-загрязнителями». Вместе с этим оксиды серы, выделяющиеся при использовании топлив, могут быть использованы для получения хозяйственно важных элементарной серы и серной кислоты. Следовательно, данная тема важна как с точки зрения защиты окружающей среды от выбросов, содержащих оксиды серы, так и с точки зрения получения сырья.

Таким образом, задачи данного исследования сводятся к следующему:

Изучить:

- 1) свойства оксидов серы;
- 2) влияние оксидов серы на окружающую среду;
- 3) пути попадания оксидов серы в атмосферу;
- 4) способы сокращения выбросов оксидов серы в окружающую среду;

Провести эксперимент, показывающий свойства оксидов серы и сравнивающий химические процессы, происходящие при очищении выбросов от оксидов серы несколькими изученными способами.

## 1. Литературный обзор.

### 1.1 Оксиды серы и их свойства.

Известны три вещества, относящиеся к оксидам серы: оксид серы (II), оксид серы (IV), оксид серы (VI).

Рассмотрим самый распространенный – оксид серы (IV).

*Оксид серы (IV)*, (другие названия: сернистый ангидрид, двуокись серы, диоксид серы) – соединение состава  $\text{SO}_2$ .

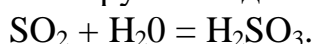
*Физические свойства* сернистого ангидрида:

В нормальных условиях представляет собой бесцветный газ с характерным резким запахом (запах загорающейся спички). Под давлением сжижается при комнатной температуре. Растворяется в воде с образованием нестойкой сернистой кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ).

Является составной частью т.н. вулканических газов<sup>1</sup>.  
растворимость 11,5 г/100 г воды при 20 °С (снижается с ростом температуры). Растворяется также в этаноле и серной кислоте.

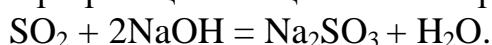
*Химические свойства:*

- Реагирует с водой с образованием сернистой кислоты:

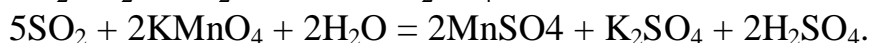
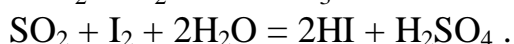
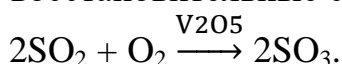


При обычных условиях эта реакция обратима.

- При реакции со щелочами образует сульфиты:



- $\text{SO}_2$  имеет высокую химическую активность и ярко выраженные восстановительные свойства:



В промышленности  $\text{SO}_2$  получают сжиганием серы или сульфидов, а используют главным образом для получения сернистой кислоты.

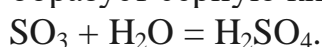
*Оксид серы (VI)* – высший оксид серы (также известен как серный ангидрид, триоксид серы, серный газ), соединение состава  $\text{SO}_3$ .

*Физические свойства:*

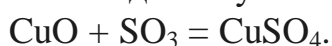
В обычных условиях легколетучая бесцветная жидкость с удушающим запахом.

*Химические свойства:*

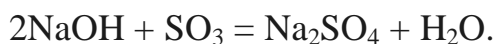
- Кислотный оксид, высоко химически активен. При взаимодействии с водой образует серную кислоту:



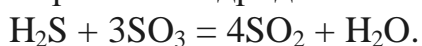
- Взаимодействует с оксидами:



- Взаимодействует с основаниями:



- Серный ангидрид имеет сильные окислительные свойства:



*Оксид серы (II)* – неорганическое соединение вида  $\text{SO}$ , очень редко встречается в атмосфере Земли. Существует в виде димера  $\text{S}_2\text{O}_2$ .

*Физические свойства:*

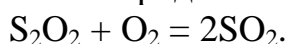
В нормальных условиях представляет собой бесцветный газ с резким, неприятным запахом.

*Химические свойства:*

- Реагирует с водой:



- С кислородом:



## 1.2 Источники попадания оксидов серы в атмосферу.

Главным источником поступления оксидов серы в атмосферу и биосферу является промышленность: металлургия (чёрная и цветная), добыча руд, угля, производство строительных материалов, производство сернистой кислоты и др. Диоксид серы используется также в пищевой промышленности, виноделии (пищевая добавка E220).

Оксиды серы образуются при сжигании твёрдого топлива (остаются недогоревшие частицы топлива, образуется зола, оксиды азота, фтора, соединения серы) при выработывании энергии, сернистых мазутов на фабриках, производственных предприятиях.

Наибольший выброс вредных веществ имеет место у крупных теплоэлектростанций, расположенных, в основном, в относительно малонаселенных местностях с ограниченным количеством других источников загрязнения атмосферы. Эти электростанции, как правило, потребляющие наименее ценные сорта топлива, являются источниками больших выбросов золы, сернистого ангидрида, оксидов азота.

В результате выбросов в атмосферу отходов промышленного производства в воздухе увеличивается концентрации пыли, оксидов серы, углерода, азота, специфических ядовитых веществ. В большинстве промышленных городов концентрация основных загрязняющих веществ превышает обычную в 5-8, а пыли – в 15-20 раз. Содержание сернистого ангидрида в городском воздухе: от 0,17 до 0,51 мг/м<sup>3</sup>.

В результате увеличения выбросов в атмосферу оксидов азота и серы из-за сжигания ископаемого топлива при производстве тепловой и электрической энергии и других технологических процессах за последние 2-3 десятилетия резко повысилось содержание серной кислоты в осадках (кислотные дожди).

Антропогенные выбросы диоксида серы на данный момент превышают 150 млн. тонн в год.

Также SO<sub>2</sub> поступает в атмосферу из выхлопных газов автотранспорта.

### 1.3 Воздействие оксидов серы на биосферу.

Так как оксид серы (IV) наиболее распространен в окружающем мире среди всех оксидов серы, и имеется в наибольшем среди них количестве в составе антропогенных выбросов, именно его биологическое действие и влияние на окружающую среду будет рассматриваться.

#### 1) Воздействие на человека.

Диоксид серы очень токсичен. У человека вызывает заболевания лёгких. Диоксид серы, поступая в дыхательные пути, вызывает у человека раздражение верхних дыхательных путей и глаз (вплоть до конъюнктивитов). Симптомы при отравлении сернистым ангидридом – першение в горле, кашель, охриплость и насморк (при относительно малых концентрациях); при больших концентрациях газа вызывает удушье, тошноту и рвоту, отёк лёгких. Возможны нарушения нервной системы (расстройства речи). Действие SO<sub>2</sub> проявляется также в нарушении обменных процессов (в том числе углеводного обмена), раздражением кровеносных органов и др.

Предельно допустимая концентрация SO<sub>2</sub> в воздухе:

- 1) в атмосферном воздухе максимально-разовая — 0,5 мг/м<sup>3</sup>,  
среднесуточная — 0,05 мг/м<sup>3</sup>;
- 2) в помещении (рабочая зона) — 10 мг/м<sup>3</sup>.

Воздействие сернистого газа различной концентрации(табл.):

Концентрация SO <sub>2</sub> в возд., мг/м <sup>3</sup>	Продолжительность воздействия, ч	Результаты воздействия
2600	-	Мгновенно приводит к смерти
1400–1600	0.5–1	Приводит к смерти
400–500	0.5–1	Вызывает опасное для жизни заболевание
40–60	0.5–1	Вызывает раздражение слизистых оболочек, чихание, кашель
20	-	Порог раздражающего действия
8–10	-	Вызывает обонятельные ощущения
3–6	-	Ощущается слабый запах
2–3	-	Концентрация неощутима по запаху
1.5	24	Повышенная смертность

0.72	24	Частичный смертельный исход
0.5	24	Повышенная смертность среди лиц определенной категории
0.3–0.5	24	Увеличение числа заболеваний лиц пенсионного возраста
0.72	24	Увеличение числа заболеваний лиц старше 50 лет с бронхиальной астмой
0.6	24	Увеличение числа жалоб пациентов на хронический бронхит
0.1–0.27	Годовая	Возрастание заболеваний верхних дыхательных путей и бронхит
0.12	>>	Увеличение числа и тяжелые заболевания верхних дыхательных путей у детей
0.115	>>	Повышенная смертность лиц с бронхиальной астмой и бронхитом

### 2) Воздействие на животный и растительный мир.

Вещества, загрязняющие атмосферу, оказывают отрицательное воздействие не только на человеческий организм, но и на весь животный мир. Опасность воздействия диоксида серы на животных несколько ниже, потому что загрязненный антропогенными веществами воздух адсорбируется в лёгких животных меньше.

Большинство животных может быть умерщвлено при длительном пребывании в атмосфере, содержащей 2000 мг/м<sup>3</sup> двуокиси серы. Опасные последствия вызывает концентрация 1000 мг/м<sup>3</sup>.

Установлено также отрицательное влияние SO<sub>2</sub> на растения. Серный ангидрид губительно действует на растительность, Небольшие дозы SO<sub>2</sub> вызывают открытие устьица листа, при высоких дозах происходит их закрытие. Проникая через устьица, сернистый ангидрид нарушает (ингибирует) процесс фотосинтеза и дыхания, вызывает острые и хронические повреждения листьев, разрушая их клетки, в которые попадает, повреждая клеточные мембраны.

Есть некоторые различия в воздействии серного диоксида на лиственные и хвойные растения. Лиственные растения обычно менее поражаемы антропогенными выбросами оксидов серы, т.к. сбрасывают листву каждой осенью – негативное воздействие оксида серы ограничивается нарушением фотосинтеза, повреждением листьев и частичным разрушением хлорофилла. Хвойные же деревья не сменяют регулярно листьев и SO<sub>2</sub> их поражает больше. Наибольший вред SO<sub>2</sub> приносит хвойным лесам при концентрации выше 0,1 мг/м<sup>3</sup>.

### 3) Биологическая роль эндогенного SO<sub>2</sub>.

Эндогенный сернистый газ играет роль в предотвращении повреждения лёгких, уменьшает образование свободных радикалов, оксидативный<sup>2</sup> стресс и воспаление ткани лёгких.

Сернистый газ блокирует нервные импульсы от рецепторов растяжения лёгких и устраняет рефлекс, возникающий в ответ на перерастяжение лёгких, стимулируя тем самым более глубокое дыхание.

Также эндогенный сернистый газ играет довольно важную физиологическую роль в регуляции функций сердечно-сосудистой системы, а нарушения в его метаболизме могут играть важную роль в развитии таких патологических состояний, как лёгочная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, гипертоническая болезнь, атеросклероз сосудов.

#### 4) *Диоксид серы и коррозия.*

Одним из наиболее дорогостоящих для человеческого быта последствий загрязнения атмосферы диоксидом серы является ускорение коррозии металлов. Такой эффект определяется затратами не только на ремонт или замену разрушенных узлов, но и на антикоррозионную обработку. Значительная часть затрат обычно связана с коррозией железа и его сплавов, однако в присутствии SO<sub>2</sub> наблюдается коррозия и других важных металлов, используемых в условиях атмосферного воздействия, - Zn, Cu и Al.

### **1.4 Способы смягчения и устранения негативного влияния оксидов серы на окружающую среду.**

Уменьшение или устранение вышеописанного негативного влияния на атмосферу содержащих окислы серы выбросов может проходить через: а) разработку и использование экологически более чистых видов топлива, и б) работу с используемым в настоящее время топливом.

На данный момент главным используемым видом топлива, считающимся экологически чистым, является природный газ, т.е. смесь метана (около 70%), водорода, углекислого газа, сероводорода (до 20% в разных месторождениях – чаще 1-2%), азота, также бутана, этана, пропана. Образует относительно небольшое количество вредных веществ при сгорании, в том числе сернистого газа, почему и считается наиболее чистым экологически.

Можно выделить два направления, по которым можно производить работу с серосодержащим топливом:

#### **1.4.1 Первое:** очистка самого топлива до его сжигания.

*1 - Первый способ* очистки топлива: **гидроочистка**, обессеривание жидкого топлива.

Нефтяные топлива, содержащие углеводороды с 6-ю и большим количеством атомов углерода часто содержат и достаточно большое количество присоединенных к углеводородам органических серных соединений (до 5-6% в нефти сибирских и уральских месторождений). В процессе гидроочистки происходит реакция веществ нефтяных фракций с водородом, где связи C-S разрушаются и образуется сероводород (H<sub>2</sub>S), и тем самым нефть очищается от серосодержащих соединений.



Этот процесс протекает при температуре 300-450°C и давлении до 10 МПа. Происходит в присутствии катализаторов: оксидов молибдена, кобальта и никеля ( $\text{Co}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ).

*2 - Второй способ:* очищение углей, обессеривание твердого топлива.

Сера в твёрдом топливе содержится, как правило, в виде железного колчедана ( $\text{Fe}_2\text{S}$ ), серы, входящей в состав молекул органической массы топлива, и сульфатов.

Серный колчедан имеет гораздо большую плотность, чем плотность общей массы угля, поэтому он легко отделяется при обогащении, при котором уголь разными способами разделяется на фракции. Таким способом можно очистить топливо от достаточно большого количества серы.

Органическая сера выводится в процессе гидротермического обессеривания угля. Этот способ заключается в обработке измельченного топлива при давлении 1,75 МПа и при температуре 225-300°C щелочными растворами, содержащими гидраты оксидов натрия и калия. При этом получается уголь с весьма малым содержанием серы, который отделяется от жидкости (щелочных растворов) центрифугированием и затем сушится. Жидкость, содержащая сульфиды натрия и калия, регенерируется в результате обработки углекислым газом, а из получающегося при этом сероводорода затем извлекается элементарная сера.

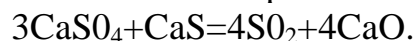
*3 - Другой способ очищения жидкого топлива от серы:* снижение сернистости топлива возможно осуществить, подвергнув его воздействию высоких температур с использованием окислителей (*газификации*).

Процесс газификации осуществляется в условиях высоких температур (от 900 до 1300°C) при ограниченном доступе кислорода: в результате образуется газ, компонентами которого являются метан и его гомологи, оксиды углерода и водород. Из серы топлива при этом образуется сероводород, а топливо очищается от серы.

*4 - Способ очищения жидких, газообразных и твердых топлив:*

Сжигание топлива в кипящем слое частиц размолотого известняка. При температуре около 900°C происходит диссоциация известняка ( $\text{CaCO}_3$ ) на  $\text{CO}_2$  и  $\text{CaO}$ , при этом в реакцию с серой вступает  $\text{CaO}$ , образуя в конечном итоге сульфат кальция  $\text{CaSO}_4$ . Степень очистки топлива от серы при этом может быть до 90%.

Часть кипящего слоя, поглотившего серу топлива, подается на регенерацию. При температуре от 1000 до 1500°C под беспровальную решетку подаются продукты сгорания топлива, поддерживающие температуру в слое на уровне около 1000-1100°C. При этом протекает реакция:



Газообразные продукты содержат до 10% сернистого ангидрида  $\text{SO}_2$ , который может быть использован для производства серной кислоты. Регенерированный оксид кальция возвращается в топочное устройство котла.

Такая схема сжигания топлива в кипящем слое разработана, в частности, для сернистого мазута. Этот способ, вместе с имеющимися его преимуществами

имеет и существенные недостатки, препятствующие его широкому применению на теплоэлектростанциях: требуются создание принципиально новых конструкций котлов, организация установок для приготовления фракций известняка, создание установок для регенерации сернистых соединений кальция, улавливание твердых частиц топлива, уносимых из кипящего слоя, пневмотранспорт абразивных материалов и другое.

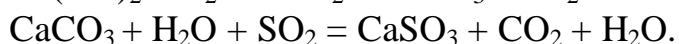
**1.4.2. Второе направление** по работе с топливом: очистка продуктов его сгорания.

При сжигании топлив почти вся содержащаяся сера находится в дымовых газах в форме оксидов  $SO_3$  и  $SO_2$ . Подавляющее количество оксидов серы (около 99%) находится в форме слабореакционного газа  $SO_2$  и лишь менее 1% в форме  $SO_3$ .

Имеющийся опыт работы по очистке дымовых газов от серы показывает, что вода поглощает существенную часть  $SO_3$ , образуя серную кислоту и в очень малой степени  $SO_2$ . Для увеличения поглощения  $SO_2$  из топлива необходимо применять более эффективные поглотители - водные растворы или взвеси веществ, переводящие оксиды серы в соли - сульфаты и сульфиты.

*1 – Первый рассматриваемый метод: известняковый (известковый) метод.*

Данный метод сероочистки газов основан на нейтрализации сернистой кислоты, получающейся в результате растворения сернистого ангидрида, содержащегося в дымовых газах, щелочными реагентами: гидратом оксида кальция (известью) или карбонатом кальция (известняком). При этом протекают следующие реакции:



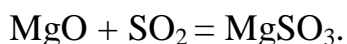
В результате этих реакций получается сульфит кальция, частично окисляющийся в сульфат. В большинстве случаев продукты нейтрализации далее не используются.

Преимуществами известнякового (известкового) метода являются простота технологической схемы, доступность (дешевизна сорбента), относительно малые капитальные затраты, возможность очистки газов без предварительного его охлаждения и обеспыливания.

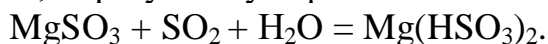
Недостатки известкового метода: невысокий коэффициент использования известняка, зависящий от типа применяемого минерала и достигающий, не больше 40-50%, получение в качестве продукта утилизации неиспользуемого шлама, относительно низкая эффективность очистки продуктов сгорания топлива.

*2 – Второй рассматриваемый метод – магнезитовый.*

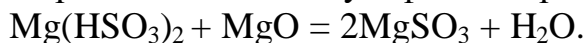
Этот способ предполагает связывание серного ангидрида при взаимодействии его с магнезитом (оксидом магния) по реакции:



Образовавшийся сульфит магния снова взаимодействует с двуокисью серы и водой, образуя бисульфит магния:



Образовавшийся бисульфит нейтрализуется добавлением магнезита:



Образовавшийся сульфит магния может быть термически разложен на исходные продукты в процессе обжига при температуре около 800-900°C по реакции:



Оксид магния возвращается в процесс, а концентрированный оксид серы может быть в дальнейшем переработан в серную кислоту или элементарную серу.

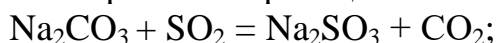
Степень очистки дымовых газов от  $\text{SO}_2$  может составлять 90-92%.

Как в случае с известняковым методом очистки одно из главных достоинств магнезитового способа есть возможность достижения высокой степени очищения газов от оксидов серы без предварительного их охлаждения. Также дальнейшее использование сульфата магния на производстве может происходить далеко за пределами ТЭС, на котором используется магнезитовый способ очистки газов, так как высушенные и обезвоженные кристаллы сульфата магния могут удобно транспортироваться.

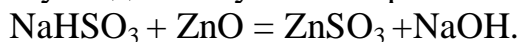
Основной недостаток магнезитового способа – большое количество операций с твердыми веществами (кристаллами сульфита, оксида магния, золы), что связано с износом аппаратуры, пылением. Для сушки кристаллов и удаления гидратной влаги из сульфата магния для дальнейшего использования требуется значительное количество тепла.

*3 – Третий способ:* способ с применением растворов соды.

Данный метод состоит в промывке отходящих газов – продуктов сгорания топлива - водными растворами соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (кальцинированной). В процессе промывки протекают реакции:



$\text{SO}_2$  затем извлекают из  $\text{NaHSO}_3$  с помощью реакции с оксидом цинка и используют для получения серной кислоты или серы:



Преимущества метода, основанном на применении водных растворов натриевых солей: высокая эффективность очистки газов от серы, отсутствие в используемом абсорбенте твердых составляющих, получение товарной соли  $\text{NaHSO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  при протекании реакций.

К недостаткам метода относится повышенная окисляемость солей в цикле регенерации, что приводит к дополнительным расходам сорбента; также относительная дефицитность сорбента, сложность технологической схемы и другие недостатки.

## 2. Практическая часть работы.

Ниже будут экспериментально изучены и сравнены несколько методов очистки продуктов использования серосодержащих топлив и дан теоретический анализ химических процессов, происходящих при использовании этих способов. Также будет проведен эксперимент, показывающий восстановительные свойства диоксида серы (с предварительным анализом).

### 2.1 Теоретический анализ.

Рассматриваются ниже химические процессы, происходящие при очистке продуктов сжигания топлива от оксидов серы известковым методом и методом с использованием растворов соды, как наиболее легко осуществимые в лабораторных условиях.

#### Известковый метод.

- *Реакция с известью:*



Энтальпия реакции:  $\Delta H = \sum v_i \Delta H_i^{\circ}{}_{298} - \sum v_j \Delta H_j^{\circ}{}_{298} = (-1753) - (-986,2 - 285,84 - 296,9) = -184,06$  кДж.

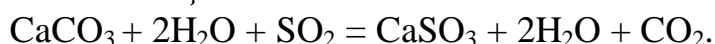
Энтропия:  $\Delta S = \sum v_i \Delta S_i^{\circ}{}_{298} - \sum v_j \Delta S_j^{\circ}{}_{298} = (184) - (83,4 + 69,96 + 248,1) = -217,46$  Дж/моль·К.

$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S = -184060 - 298 \cdot (-217,46) = -119,26$  кДж.

$$K_p = 10^{\frac{-\Delta G}{RT}} \approx 10^{-48}.$$

$\Delta G < 0 \rightarrow$  данная реакция осуществима.

- *Реакция с известняком:*



Энтальпия реакции:  $\Delta H = \sum v_i \Delta H_i^{\circ}{}_{298} - \sum v_j \Delta H_j^{\circ}{}_{298} = (-1753 - 393,51) - (-1206 - 571,68 - 296,9) = -71,93$  кДж.

Энтропия:  $\Delta S = \sum v_i \Delta S_i^{\circ}{}_{298} - \sum v_j \Delta S_j^{\circ}{}_{298} = (184 + 213,6) - (92,9 + 2 \cdot 69,96 + 248,1) = -83,32$  Дж/моль·К.

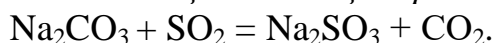
$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S = -71930 - 298 \cdot (-83,32) = -47,1$  кДж.

$$K_p = 10^{\frac{-\Delta G}{RT}} \approx 10^{-19}.$$

$\Delta G < 0 \rightarrow$  данная реакция осуществима.

#### Метод с использованием растворов соды.

- *Реакция с кальцинированной содой:*



Энтальпия реакции:  $\Delta H = \sum \nu_i \Delta H_{i, 298}^{\circ} - \sum \nu_j \Delta H_{j, 298}^{\circ} = (-1090 - 393,51) - (-1129 - 296,9) = -57,61$  кДж.

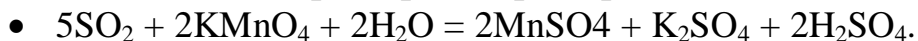
Энтропия:  $\Delta S = \sum \nu_i \Delta S_{i, 298}^{\circ} - \sum \nu_j \Delta S_{j, 298}^{\circ} = (146 + 213,6) - (136 + 248,1) = -24,5$  Дж/моль·К.

$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S = -57610 - 298 \cdot (-24,5) = -44,31$  кДж.

$K_p = 10^{\frac{-\Delta G}{RT}} \approx 10^{-18}$ .

$\Delta G < 0 \rightarrow$  данная реакция осуществима.

### Реакция диоксида серы и раствора перманганата калия.



$\text{S}^{+4} - 2e \rightarrow \text{S}^{+6}$  | 5 (процесс окисления; сера- восстановитель)

$\text{Mn}^{+7} + 5e \rightarrow \text{Mn}^{+2}$  | 2 (процесс восстановления; марганец – окислитель)

## 2.2 Эксперимент.

Цель эксперимента: сравнить наблюдения при химических процессах очищения газов от оксида серы (II).

Ход эксперимента.

Сернистый ангидрид  $\text{SO}_2$ , полученный при реакции:

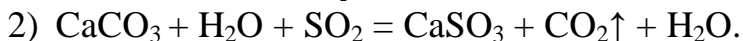


пропускается поочередно через растворы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{KMnO}_4$ .

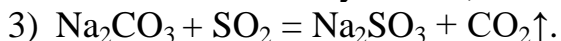
Собирается установка, состоящая из двух пробирок (в первой выделяется  $\text{SO}_2$ , во второй находится раствор реагирующего вещества) и отводной трубки, через которую газ переходит из одной пробирки в другую.



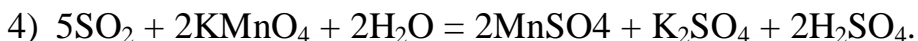
Наблюдения: помутнение, выпадение осадка.



Наблюдения: помутнение, выпадение осадка, выделение газа.



Наблюдения: выделение газа.



Наблюдения: обесцвечивание.

Выводы: теоретический анализ показал возможность всех исследованных в практической части работы процессов; также показал, что метод очистки с использованием известняка ( $\text{CaCO}_3$ ) наименее энергозатратен. При этом

образующийся при пропускании сернистого газа через раствор соды сульфит натрия применяется шире, чем сульфит кальция.

### **Заключение.**

Таким образом, в данной работе выше была дана характеристика физических и химических свойств оксидов серы, оценено их воздействие на биосферу (растительный и животный мир, человека) в процессе использования содержащих серу веществ в промышленности, включая выбросы на теплоэлектростанциях, и в быту, а также были исследованы методы уменьшения этого вредного воздействия – через очистку выбросов и используемых в качестве топлива веществ. Была теоретически и экспериментально показана возможность химических процессов, протекающих при очистке выбросов от сернистого газа определенными методами.

Примечания:

<sup>1</sup>**Вулканические газы** — газы, выделяемые вулканами во время и после извержения из кратера, трещин, расположенных на склонах вулкана, из лавовых потоков и пирокластических пород.

<sup>2</sup> **Оксидативный (окислительный) стресс** - процесс повреждения клетки в результате окисления.

#### **Список использованной литературы:**

1. Большая Советская Энциклопедия (1969-1978) – М. Советская энциклопедия; 3-е издание, 34 том - 652 с.
2. В. И. Смола, Н.В. Кельцев, Защита атмосферы от двуокиси серы - Москва: Металлургия, 1976. - 255 с.
3. Горная энциклопедия (БСЭ, 1984-1990) (электронная версия: [www.mining-enc.ru](http://www.mining-enc.ru)) - <http://www.mining-enc.ru/o/obesserivanie-uglej>
4. Дедю И. И. Экологический энциклопедический словарь/ И. И. Дедю - Кишинев: Гл. ред. Молд. сов. энцикл., 1990. — 406 с.
5. Интернет-справочник по химическим веществам ([www.xumuk.org](http://www.xumuk.org)) - <http://www.xumuk.ru/spravochnik/1783.html>
6. Н. Г. Вилесов, А. А. Костюковская - Очистка выбросных газов. - Киев: Техніка (1971) – 194 с.
7. Дмитриев М.Т. - Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде – М.: Химия, 1989. – 367 с.
8. Интернет-энциклопедия Википедия ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)) - <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидроочистка>
9. Орлов Д.С, Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении – М.: Высшая школа, 2002. – 334с
10. Проскураков В.А., Драбкин А.Е. Химия нефти и газа. – СПб.: Химия, 1995. – 448с.
11. Смидович, Е. В. Технология переработки нефти и газа / Е. В. Смидович. - 4-е изд., стереотип., перепечатка с третьего издания 1980 г. - Москва: Альянс, 2011. - 328 с.
12. Химическая энциклопедия (в 5-ти томах) (Зефирова Н.С., Кнунянц И.Л.) (1988г.) – М. Советская энциклопедия; 4 том - 641 с.
13. The National Center for Biotechnology Information ([www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov))- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25382339>

### Abstract.

This research is devoted to the problem of sulfur oxides and its effects on the environment.

The aim of the research is study of problem of negative effects of sulfur oxides for the environment (biosphere) and compare the approaches to mitigating and eliminating of sulfur oxides negative impact.

To achieve the aim it was necessary to do the following:

1. to show consistently the material of:
  - sulfur oxides and it's properties
  - the way how it comes to the environment
  - the effects that have sulfur oxides do on the biosphere
  - ways of the eliminating of it's negative effects (purification from sulfur of fuels and wastes)
2. to make up an experiment comparing the ways of the mitigating of the negative impacts of sulfur oxides on the environment and the showing efficiency of these ones.

During the research the most effective way of fuel and waste purification was found out.

In conclusion, it should be noted that the objectives set in beginning of the research have been accomplished, namely:

- the properties of the sulfur oxides was searched
- it was shown the penetration of the sulfur oxides in the environment
- how it impacts on environment (biosphere; in particular, human)
- how it could be corrected by a) fuel purification; b) waste purification